

Kartiokeilatietokonetomografia ja sen kliniset sovellukset

Kuvantamistekniikan nopea kehitys on johtanut uusien menetelmien käyttöönottoon monilla radiologian osa-alueilla. Tavanomaisten leikekuvantamismenetelmien eli tietokonetomografian ja magneettikuvauksen käyttö on jo arkipäivää. Kartiokeila-TT on niihin nähden uusi tulokas, mutta se on jo laajalti käytössä. Kyseessä on tarkka, kolmiulotteinen kovakudosrakenteiden kuvantamismenetelmä, jota hyödynnetään etenkin hammaslääketieteellisessä radiologiasa. Kovakudosrakenteiden tarkan kuvautumisen lisäksi sen etuna on tavallista tietokonetomografiaa pienempi säderasitus. Lisäksi laitteisto on halvempi ja yleensä myös pienikokoisempi. Menetelmä soveltuu myös erilaisella laitesuunnittelulla pehmytkudosten kuvantamiseen.

Alun perin kartiokeilatietokonetomografia (KKTT) kehitettiin angiografisiin sovelluksiin (Robb 1982). Ensimmäinen tutkimus hammaslääketieteelliseen käyttöön suunnitellusta KKTT-laitteesta julkaistiin vuonna 1998 (Mozzo ym.), ja nyttemmin tekniikka on vakiinnuttanut asemansa hammaslääketieteellisessä radiologiassa. Tältä osin KKTT:n käyttöaiheista, optimoinnista sekä kuvauksitekereistä on laadittu sekä Euroopassa että Yhdysvalloissa näyttöön perustuvat päivitettävät suositukset (Carter ym. 2008, Horner ym. 2009, SEDENTEXCT 2011). Suomessa Säteilyturvakeskus (STUK) on päivittänyt 1.10.2011 voimaan tulleet Hammasröntgentutkimukset terveydenhuollossa ohjeensa, jossa esitetään hammasröntgentoimintaa ja hammasröntgenlaitteiden käyttötiloja ja laadunvarmistusta koskevat säteilyturvallisuusvaatimukset myös KKTT-laitteiden osalta.

Angiografisten ja hammaslääketieteellisten sovellusten lisäksi KKTT:tä voidaan käyttää myös murtumien sekä muiden muskuloskeetaalisten ongelmien selvittelyyn (Reichardt ym. 2008, Zbijewski ym. 2011, Ramdhian-Wihlm ym. 2012). Käyttömahdollisuuksia ovat niin ikään sädehoidon suunnittelu sekä mammografia (Morin ym. 2006, Korreman ym. 2010, Yang 2011). Liikuteltavaan C-kaareen asennettuja KKTT-laitteita käytetään leikkauksen aikana ja yhä enemmän myös toimenpideradiologiassa (Orth ym. 2008, Wallace ym. 2008). KKTT-laitteen soveltuminen monenlaiseen kuvantamiseen – radiografiaan ja läpivalaisuun, angiografiaan ja kolmiulotteiseen kuvantamiseen – tekee siitä monipuolisen välineen. Potilaskuvausten lisäksi sitä voidaan käyttää pieneläinkuvauksiin ja kudosten ohjatun kasvattamisen seurantaan (Gupta ym. 2008). Katsauksessa käsitellään KKTT:n perusteita ja klinisiä sovelluksia. Pääpaino on sen käyttö hampaiston, kasvojen ja kallon alueella sekä muskuloskeetaaliradiologiassa.

Kartiokeila-TT:n perusteet

Nimensä mukaisesti KKTT-laitteen röntgensäteilykeila on kartiomainen tai pyramidimainen. Säteilylähde sekä ilmaisimien (tavallisimmin tasopaneeli-ilmaisimien) on kytketty samaan kuvaustelineeseen. Kuvauksessa 180–360 asteen pyörähdyksen aikana kuvattavasta kohteesta otetaan lukuisia kaksitasoprojektioita eli tavallisia röntgenkuvia. Siten kuvaus poikkeaa selkeästi tavanomaisesta tietokonetomografiasta, jossa kuvataan leikkeitä. Tiedon matemaattisen esikäsittelyn jälkeen KKTT:n kaksitasoprojektioista rekonstruoidaan kolmiulotteista tilavuusdataa, joka sisältää

1037

isometriset (yhdenkokoiset) kolmiulotteiset kuva-alkiot eli vokselit. Hampaiston kuvantamiseen suunnitelluissa KKTT-laitteissa vokselin sivun mitta on 0,076–0,4 mm (Scarfe ja Farman 2008), kun monileike-TT:llä voidaan saavuttaa 0,24 mm:n isometrinen resoluutio (White ja Pharoah 2008). Kolmiulotteista tilavuusdataa pystytään tarkastelemaan halutussa suunnassa kuten TT:ssä. Lisäksi on mahdollista luoda erilaisia tasokuvia, esimerkiksi panoraamanäkymä tai 3D-kuvia. KKTT:ssä kuvakenttä (field of view = FOV) on sylinterin tai pallon muotoinen ja kuvakenttäkoot sekä niiden valintamahdollisuudet vaihtelevat laitteittain (muutamasta senttimetristä esim. koko pään kattavaan alueeseen). KKTT-laitteissa kuvaukset suoritetaan laitetyypin mukaan potilaan istuessa, seisoessa tai maatessa. KKTT-laitteet ovat tavalliseen TT-laitteeseen verrattuna pienempiä ja hinnaltaan huomattavasti halvempia. Kovakudosrakenteiden kuvantamisessa KKTT:n sädeannokset ovat yleensä merkittävästi pienempiä kuin TT:n mutta suurempia kuin hampaiston ja leukojen alueen tavanomaisten kuvantamismenetelmien (intraoraali-, panoraama- ja kefalometrisissa kuvauksissa) (SEDENTEXCT 2011) (TAULUKKO). Eri laitteiden välillä on kuitenkin suuria eroja sädeannoksissa ja kuvanlaadussa, minkä vuoksi kuvaustekniikoiden kehittäminen on edelleen tarpeen. Sädeannokseen vaikuttavat toki myös kuvausparametrit sekä kuvakentän koko. Toisaalta monileike-TT:t tulee tehdä pieniannostutkimuksina, kun mielenkiinnon kohteena ovat kovakudosrakenteet

(Suomalainen 2010). Jos KKTT:llä halutaan saavuttaa hyvä pehmytkudosten erottelukyky, sädeannokset vastaavat tai lähestyvät monileike-TT:n annosta (Daly ym. 2006, Gupta ym. 2008).

KKTT-laitteella voidaan kuvata tarkasti kovakudosrakenteita varsin lyhyellä kuvausajalla (n. viidestä sekunnista useimmiten alle 20 sekuntiin) ja pienellä annoksella. Juuri tällaisiin tutkimuksiin hampaiston ja kasvojen alueen kuvantamiseen suunnitellut laitteet on kehitetty (Scarfe ym. 2012). Tähän liittyy tyypillisesti suurentunut kohina, joka yhdessä KKTT-laitteiden ilmaisimien TT-laitteita heikomman dynaamisen kapasiteetin (temporaalinen resoluutio) ja sironnan kanssa aiheuttaa KKTT-laitteiden TT:tä huonomman kontrastiresoluution. Siten pehmytkudosten erottelukyky jää huonoksi, mutta pehmytkudosten ääriiviat saadaan esiin. Tutkimus vastaa tältä osin tavallisen TT:n luuikkunanäkymää. Kun laitteisto suunnitellaan eri tavalla, KKTT-laitteiden avulla voidaan kuitenkin saavuttaa myös hyvä kontrastiresoluutio, jolloin pehmytkudosten näkyvyys paranee. Tällöin laite soveltuu esimerkiksi kardiologisiin tutkimuksiin ja mammografiaan (Gupta ym. 2008, Scarfe ym. 2012). Reichardt ym. (2008) ovat osoittaneet KKTT-laitteen prototyypillä tehdyissä tutkimuksissa, että muun muassa verisuonet, jänteet ja hermot saadaan hyvin esiin. KKTT-laitteiden kontrastiresoluutio on tällöin noin 5–10 Hounsfieldin yksikköä (HU), kun se monileike-TT:ssä on 1–3 HU (Reichardt ym. 2008).

TAULUKKO. Kovakudosrakenteiden kuvantaminen.

Kuvausmenetelmä	Efekttiivinen annos (μSv)
Dentoalveolaarinen KKTT (FOV < 10 cm)	11–674 (61)
Kraniofasiaalinen KKTT (FOV > 10 cm)	30–1073 (87)
Intraoraalikuvaus	< 1,5
Panoraamakuvaus	2,7–24,3
Kefalometrinen kuvaus	< 6
Monileike-TT ylä- ja/tai alaleuan alueelta	280–1410

Hampaiston ja leukojen alueen efektiiviset annokset on esitetty mikrosieverteinä (μSv) (SEDENTEXCT 2011). KKTT:n efektiivisten annosten raja-arvojen lisäksi sulkeissa on esitetty mediaaniarvot. Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos on noin 3 700 μSv vuodessa, mikä tekee noin 10 μSv vuorokaudessa (STUK). Noin puolet tästä annoksesta aiheutuu sisäilman radonista, noin 30 % luonnon taustasäteilystä ja noin 15 % säteilyyn käytöstä terveydenhuollossa.

Kuvavirheet eli artefaktit aiheuttavat ongelmia KKTT:ssä kuten TT:ssäkin. KKTT:ssä artefaktit voidaan jakaa fysiikasta (esim. säteen koveneminen mm. metallitäytteistä), potilaasta (esim. liikeartefakti), laitteesta (esim. rengasartefaktit) ja kartio- tai pyramidikeilasta johtuviin (esim. kuvakentän reuna-alueiden vääristymä) (Suomalainen 2010, Scarfe ym. 2012). Artefaktien suhteen on laitekohtaisia eroja, ja niiden vähentämiseksi voidaan käyttää erilaisia algoritmeja (Suomalainen 2010). Tässä asiassa tehdäänkin runsaasti kehitystyötä.

Hammaslääketieteelliset sovellukset

STUK:n mukaan Suomessa on nykyään hammaslääketieteellisessä käytössä joko julkisella tai yksityispuolella noin 40 KKTT-laitetta ja niiden määrä lisääntyy jatkuvasti. KKTT:tä käytetään pääsääntöisesti kovakudosrakenteiden tarkempaan tutkimiseen tilanteissa, joita ei voida ratkaista tavanomaisten hammasröntgentutkimusten avulla (panoraama-, intraoraali- tai kefalometrisin tutkimuksin).

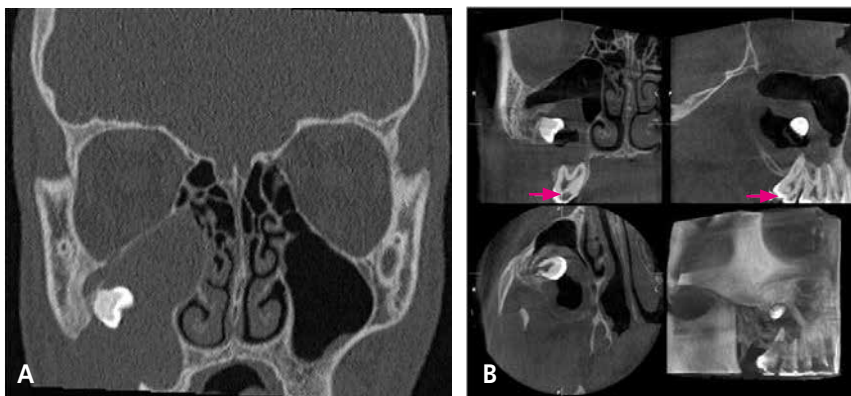
KKTT:n käyttöaiheita SEDENTEXCT:n (2011) ohjeiden mukaisesti.

Oikomishoito. Laajan kuvakentän KKTT:tä voidaan kuitenkin käyttää luuston laajojen

poikkeavuuksien tutkimiseen ja silloin, kun muutoin tehtäisiin tavallinen TT. Laajakenttäkuvantamisen osalta tarvitaan lisää tutkimuksia siitä, mitä hoidollista hyötyä sen avulla voidaan saada. Halkiopotilaat tulisi kuvantaa pienen kuvakentän KKTT:llä tavallisen TT:n sijaan. Laajan kuvakentän KKTT:tä ei tulisi käyttää rutiinimaisesti oikomishoidossa, kuten ei myöskään ortognaattisessa kirurgiassa.

Tavanomainen hammashoito. Kariesdiagnoosiikkaan KKTT:tä ei tule käyttää. Parodontiumin eli hampaiden kiinnittymiskudosten osalta hankalien luutaskujen diagnoosiikassa siitä voi olla hyötyä ja sen käyttöä voidaan harmita. Täytteistä tulevat artefaktit hankaloittavat kuitenkin diagnoosiikkaa. Toki KKTT-tutkimuksista arvioidaan myös mahdolliset karieslöydökset tai parodontiumin muutokset tai niiden epäilyt (KUVA 1). Sen sijaan apikaali- eli juuren kärjen alueen muutosten arvioinnissa esimerkiksi juurihoidon yhteydessä KKTT:stä on usein hyötyä, joskaan näissäkään tapauksissa se ei ole rutiinitutkimus.

Traumat. Dentoalveolaarisissa (hampaaseen tai hammasharjanteeseen liittyvissä) traumoissa KKTT:tä voidaan käyttää, kun tavanomaiset hammaskuvausmenetelmät (panoraama- tai intraoraalikuvaus) eivät anna riittävästi tietoa diagnoosiikkaa tai hoidon suunnittelua varten.



KUVA 1. A) Nenän sivuonteloiden pieniannos-TT. Oikeassa poskiontelossa nähdään kraniaalisuuntaan dislokoitunut D18. Siihen liittyy kookas keratokystinen odontogeeninen kasvain, joka täyttää koko poskiontelon. Hammas työntää poskiontelon mediaalista seinämää selvästi mediaalisuuntaan. Lisäksi se on tuhonnut poskiontelon lateraaliseinämää. Muutos työntyy myös seualokeroston alaosaan. **B)** KKTT. Seurantakuvauksessa neljä kuukautta biopsian ja marsupialisaation jälkeen muutos on pienentynyt huomattavasti, mikä helpottaa kirurgista hoitoa. KKTT:n avulla kuvakenttä voitiin rajata oikean poskiontelon alueelle. Sivulöydöksenä D17:ssä todetaan kariesta (nuolet).

YDINASIAT

- ▶ Kartiokeila-TT on kovakudosten tarkka kolmiulotteinen kuvantamismenetelmä.
- ▶ Etuna tavalliseen TT:hen nähden on sen vähäisempi säderasitus sekä laitteiston halvempi hinta ja pienempi koko.
- ▶ Menetelmä on yleisessä käytössä hammaslääketieteellisessä radiologiassa.
- ▶ Se soveltuu myös muun muassa nenän sivuonteloiden, temporaalialueen sekä lihasten ja luuston kuvantamiseen.

Lisäksi leukojen ja kasvojen alueen traumaissa sitä voidaan käyttää tavallisen TT:n sijaan etenkin silloin, kun KKTT:n sädeannos on TT:tä pienempi ja pehmytkudosten erottelukyky ei ole tarpeen. C-kaarilaitetta voidaan käyttää traumatilaiden kuvantamiseen leikkauksen yhteydessä (Pohlenz ym. 2007).

Kirurgia. Hampaiden poiston suunnittelussa etenkin alaviisaudenhampaiden osalta KKTT on yleisessä käytössä. Sitä hyödynnetään epäiltäessä tavanomaisen kuvantamistutkimuksen perusteella alaviisaudenhampaan ja alaleukaluun kanavan (*canalis mandibulae*) hermoverisuonikimpun läheistä suhdetta toisiinsa tai muutonkin, jos poistettavan hampaan hoidon suunnittelun tai toteutuksen tarkentaminen sitä vaativat (INTERNETOHEISAINIESTON KUVA 1). KKTT:tä voidaan käyttää myös muiden puhkeamattomien hampaiden arviointiin, kun tavalliset hammaskuvaukset eivät riitä diagnostiikkaan. Kuvista voidaan arvioida muun muassa mahdollinen naapurihampaan resorptio.

Hammasimplanttihoidon suunnittelussa KKTT on laajalti käytössä (INTERNETOHEISAINIESTON KUVA 2), mutta sen ei tulisi olla tässä tapauksessa rutiinitutkimus. Tietokoneavusteisia ohjelmia voidaan tarvittaessa käyttää implanttihoidon yhteydessä (Harris ym. 2012, Benavides ym. 2012).

1040 Luustomuutokset, (odontogeeniset) kasvaimet ja kystat. KKTT:tä voidaan käyttää

luustomuutosten kuvantamiseen. Jos on tarpeen arvioida myös pehmytkudosten tilanne, tulee käyttää tavallista TT:tä tai magneettikuvausta (MK). KKTT:tä hyödynnetään varsin yleisesti muun muassa leukojen alueen kystojen (INTERNETOHEISAINIESTON KUVA 1) sekä odontogeenisten kasvainten diagnostiikassa ja seurannassa (KUVA 1). Sen käyttöä voidaan harkita myös esimerkiksi suusyövän luuinvaasion arviointiin TT:n ja MK:n lisäksi.

Leukanivelet. KKTT sopii leukanivelten luisten rakenteiden kuvantamiseen, ja sitä voidaan käyttää tavallisen TT:n sijaan, varsinkin kun huomioidaan sen pienempi sädeannos (INTERNETOHEISAINIESTON KUVA 3).

Muut sovellukset pään alueen kuvantamisessa

KKTT:n säderasitus on yleensä natiivi-TT:tä pienempi, minkä ansiosta se soveltuu nenän sivuonteloiden tutkimiseen leikkausta suunniteltaessa tai toimenpiteen yhteydessä (Campbell ym. 2009, Miracle ja Mukherji 2009) (KUVA 1). Sitä voidaan käyttää myös temporaalialuiden kuvantamiseen (INTERNETOHEISAINIESTON KUVA 4) (Miracle ja Mukherji 2009, Peltonen ym. 2009). KKTT:tä on mahdollista hyödyntää esimerkiksi sisä- tai välikorvaimplanttien sijainnin arvioinnissa, temporaalialueen kirurgiassa toimenpiteen aikana, patologisten luumuutosten osoittamisessa (mm. kuuloluiden eroosio) ja leikkauksen jälkeisten muutosten arvioinnissa. KKTT:n huono pehmytkudosten erottelukyky tulee kuitenkin muistaa. KKTT:n etujen osoittamiseen tavanomaiseen TT:hen nähden tarvitaan eteneviä tutkimuksia (Miracle ja Mukherji 2009). Laitteissa on eroja, joten niiden soveltuvuus etenkin temporaalialueen pienten rakenteiden kuvantamiseen on ensiarvoisen tärkeä huomioida. KKTT-laitteiden nopean kehityksen myötä tilanne on toiveita herättävä.

Kallonpohjan leikkauksenaikaisesta kuvantamisesta on saatu alustavia lupaavia tuloksia (Miracle ja Mukherji 2009). Yksi KKTT:n käyttökohde on ilmatilan arviointi uniapneopotilaan nielussa. Ylähengitysteiden kuvantamista koskevassa systemoidussa katsauksessa



KUVA 2. 3D-valokuvaus yhdistettynä KKTT:hen. (Kuva on saatu laitevalmistajalta ja sen julkaisuun on saatu kuvattun henkilön suostumus).

kuitenkin todettiin tasokkaiden tutkimusten puute, ja tämän vuoksi KKTT:n validiteettiin ja luotettavuuteen ei voida ottaa selkeää kantaa (Alsufyani ym. 2012).

Valumallit ja 3D-valokuvaus

KKTT:n avulla voidaan tavallisen TT:n tapaan valmistaa myös valumalleja, ja tutkimusta on mahdollista käyttää tietokoneavusteiseen suunnitteluun. Valumallien käyttö on selvästi lisääntynyt viime vuosien aikana niiden nopean toimituksen ja varsin kohtuullisen hinnan myötä. Pikavalmistusmenetelmät on alun perin kehitetty teollisuuden käyttöön, ja niiden lääketieteelliset sovellusmahdollisuudet laajenevat ja kehittyvät jatkuvasti (Mäkitie ym. 2010). Valumalleja pystytään käyttämään leikkauksen suunnitteluun (esim. hankalat epämuodostumat, traumat, kasvainresektio, distraatiohoito, implanttahoito), harjoitteluun ja tähän liittyvään kommunikaatioon leikkaavien lääkäreiden kesken ja potilaan kanssa. Valumallien avulla voidaan valmistaa myös muun muassa erilaisia proteeseja, implantteja sekä työ- ja apuvälineitä (Mäkitie ym. 2010). Valumalli on mahdollista tilata myös autoklavoitavana versiona.

Joihinkin KKTT-laitteisiin on liitetty kasvojen 3D-valokuvausmahdollisuus. Yksi kuvaustapahtuma tuottaa 3D-valokuvan ja/tai KKTT-kuvan (KUVA 2) tai tarvittaessa pelkästään jommankumman. 3D-valokuvaa voidaan

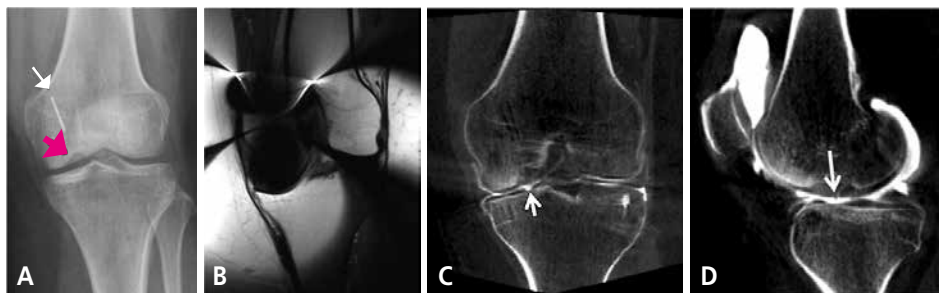


KUVA 3. Raajojen ja nivelten kuvauksiin soveltuva KKTT-laite.

hyödyntää muun muassa kirurgisissa ja oikomishoidon suunnitteluohjelmistoissa. Valokuvauksen avulla on mahdollista vertailla esimerkiksi pre- ja postoperatiivista tilannetta sekä luiden ja pehmytkudosten välistä etäisyyttä ja niiden suhteita. Eri aikaan otettuja valokuvia voidaan asettaa päällekkäin, jolloin saadaan esiin mahdolliset eroavaisuudet tai muutokset.

Muskuloskeletaaliradiologia

Raajojen nivelten kuvantamiseen tarkoitettu laitteisto tarjoaa vaihtoehdon tavalliselle TT:lle. Tällainen laitteisto on ollut koekäytössä HUS:ssä ja Tyksissä kesästä 2010 lähtien. Pienemmän kokonsa ja vähäisemmän säteilyntuotonsa ansiosta laite voidaan sijoittaa tavalliseen luokuvaushuoneeseen. Liikuteltavuus mahdollistaa kuvaukset eri puolilla sairaalaa. Rakenteensa takia (KUVA 3) menetelmä rajoittuu toistaiseksi vain kyynärpäähän ja polven sekä näitä niveliä distaalimpien rakenteiden kuvaukseen. Muita rajoituksia ovat kuva-ala (pituussuunnassa noin 10 cm ja sivusuunnassa noin 16 cm) sekä ainakin toistaiseksi epätäydellinen pehmytkudosten erottelukyky. Paikanerotuskyky on sen sijaan erinomainen: kuva-alkion sivu on vain 0,2–0,4 mm. Iso-rotoppisen kuva-alkion ansiosta kuvauskohdetta voidaan tarkastella työasemalla missä tahansa vapaavalintaisessa suunnassa. Menetelmä soveltuukin erittäin hyvin esimerkiksi ranteen ja käden luiden tutkimiseen tapatur-



KUVA 4. Polven osteokondriittipesäkkeen (punainen nuoli) hoidon yhteydessä reisiluun sisempään nivelnastaan on jäänyt poranterä (valkoinen nuoli) (A). Se aiheuttaa magneettikuviin huomattavat signaalivääristymät (B), minkä takia nivelpinnan arviointi ei onnistu. Nivelensisäisen jodipitoisen varjoaineruiskutuksen jälkeen tehdyn KKTT:n (C ja D) avulla nivelpinnan arviointi on mahdollista. Kuvassa näkyy rustovaurio (nuoli).

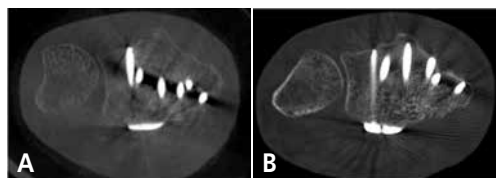
mien yhteydessä. Hyvän paikanerotuskyvyn ansiosta röntgenkuvissa näkymättömät pienet murtumat tulevat hyvin esiin. Murtumien kiinnityksessä käytetyn osteosynteesimateriaalin aiheuttamat artefaktit ovat melko vähäisiä (INTERNETOHEISAINESTON KUVA 5). Ranteen veneluun murtuman paranemisen arvioinnissa menetelmä on jo rutiinikäytössä. KKTT:tä on mahdollista käyttää röntgenkuvaa täydentävänä kuvauksena, mikäli murtumaepäily on suuri, tai sillä voidaan korvata röntgenkuva tietyissä tapauksissa kokonaan. Laitteiston rakenteen ansiosta ranteen ja käden kuvaaminen onnistuu potilaan maataessa tai nilkan kuvaaminen potilaan istuessa sängyllä. Tämä on suuri etu huonokuntoisia tai liikuntarajoitteisia potilaita kuvattaessa. Toisaalta tavalliseen TT:hen verrattuna kuvausaika on pitkäkö, noin 20 sekuntia, ja hyvin huonokuntoisen potilaan kuviin saat- taan tulla liikkeen aiheuttamaa epäterävyyttä.

Menetelmää voidaan käyttää myös ran- teen ja polven TT-artrograffoissa (KUVA 4), rannemurtumien leikkaustulosten arvioin- nissa (KUVA 5) ja reumatautien aiheuttamien luueroosoiden tarkastelussa. Niveleen ruisku- tettu jodipitoinen varjoaine raajaa nivelruston

hyvin, ja pienetkin rustopinnan epätasaisuudet saadaan näkyviin. Kääntyvän telineen ansiosta polven, nilkan ja jalkaterän kuvaus pys- tytään suorittamaan potilaan seistessä. Tämä on täysin uusi menetelmä, johon tavallisella TT-laitteistolla ei päästä. Se avaa aivan uusia tutkimusmahdollisuuksia erityisesti nilkan ja jalkaterän alueen sairauksien kuvantamisessa (Tuominen ym. 2013).

Lopuksi

KKTT on uusi tulokas kuvantamismenetel- mien joukossa, mutta se on jo lyhyessä ajassa saavuttanut vankan jalansijan etenkin ham- maslääketieteellisessä radiologiassa. Se sovel- tuu myös moneen muuhun kuvantamiseen. KKTT:hen liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä tehdään yhä enemmän. Tutkimustulosten pe- rusteella KKTT:n käyttöaluetta voidaan tar- kentaa ja laajentaa. Tutkimustiedon karttuessa myös KKTT:n vaikuttavuutta kyetään arvioi- maan yhä luotettavammin. Monille lääkäreille menetelmä on varsin vieras, ja onkin tärkeää, että tietoisuus sen olemassaolosta saavuttaa mahdollisimman suuren joukon. ■



KUVA 5. Rannemurtuman leikkaushoito. KKTT-kuva (A) ja tavallisella 64-TT:llä otettu kuva (B). Diagnosti- nen informaatio on tasoltaan samanlaista.

ANNI SUOMALAINEN, HLT, EHL,
hammaslääketieteellinen radiologia,
va. osastonylihammaslääkäri
HUS-Kuvantaminen. Kirurginen sairaala, röntgen

SEPPO K. KOSKINEN, dosentti, erikoislääkäri, yllilääkäri
HUS-Kuvantaminen, Töölön sairaala, röntgen

SIDONNAISUUDET

Anni Suomalainen: Ei sidonnaisuuksia
Seppo K. Koskinen: Asiantuntijapalkkio (PLANMED OY)

KIRJALLISUUTTA

- Alsufyani NA, Flores-Mir C, Major PW. Three-dimensional segmentation of the upper airway using cone beam CT: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol* 2012;41:276–84.
- Benavides E, Rios HF, Ganz SD, ym. Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: the International Congress of Oral Implantologists consensus report. *Implant Dent* 2012;21:78–86.
- Campbell PD Jr, Zinreich SJ, Aygun N. Imaging of the paranasal sinuses and in-office CT. *Otolaryngol Clin North Am* 2009;42:753–64, vii.
- Carter L, Farman AG, Geist J, ym. American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology executive opinion statement on performing and interpreting diagnostic cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106:561–2.
- Daly MJ, Siewerdsen JH, Moseley DJ, Jaffray DA, Irish JC. Intraoperative cone-beam CT for guidance of head and neck surgery: Assessment of dose and image quality using a C-arm prototype. *Med Phys* 2006;33:3767–80.
- Gupta R, Cheung AC, Bartling SH, ym. Flat-panel volume CT: fundamental principles, technology, and applications. *Radiographics* 2008;28:2009–22.
- Harris D, Horner K, Gröndahl K, ym. E.A.O. guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry 2011. A consensus workshop organized by the European Association for Osseointegration at the Medical University of Warsaw. *Clin Oral Implants Res* 2012;23:1243–53.
- Horner K, Islam M, Flygare L, Tsiklakis K, Whaites E. Basic principles for use of dental cone beam computed tomography: consensus guidelines of the European Academy of Dental and Maxillofacial Radiology. *Dentomaxillofac Radiol* 2009;38:187–95.
- Korreman S, Rasch C, McNair H, ym. The European Society of Therapeutic Radiology and Oncology-European Institute of Radiotherapy (ESTRO-EIR) report on 3D CT-based in-room image guidance systems: a practical and technical review and guide. *Radiother Oncol* 2010;94:129–44.
- Miracle AC, Mukherji SK. Conebeam CT of the head and neck, part 1: physical principles. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:1088–95.
- Morin O, Gillis A, Chen J, ym. Megavoltage cone-beam CT: system description and clinical applications. *Med Dosim* 2006;31:51–61.
- Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8:1558–64.
- Mäkitie A, Paloheimo K, Björkstrand R, ym. Teollisen pikavalmistuksen lääketieteelliset sovellukset. *Duodecim* 2010;126:143–51.
- Orth RC, Wallace MJ, Kuo MD; Technology Assessment Committee of the Society of Interventional Radiology. C-arm cone-beam CT: general principles and technical considerations for use in interventional radiology. *J Vasc Interv Radiol* 2008;19:814–20.
- Peltonen LI, Aarnisalo AA, Käser Y, ym. Cone-beam computed tomography: a new method for imaging of the temporal bone. *Acta Radiol* 2009;50:543–8.
- Pohlenz P, Blessmann M, Blake F, Heinrich S, Schmelzle R, Heiland M. Clinical indications and perspectives for intraoperative cone-beam computed tomography in oral and maxillofacial surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;103:412–7.
- Ramdhian-Wihlm R, Le Minor JM, Schmittbuhl M, ym. Cone-beam computed tomography arthrography: an innovative modality for the evaluation of wrist ligament and cartilage injuries. *Skeletal Radiol* 2012;41:963–9.
- Reichardt B, Sarwar A, Bartling SH, ym. Musculoskeletal applications of flat-panel volume CT. *Skeletal Radiol* 2008;37:1069–76.
- Robb RA. The Dynamic spatial reconstructor: An X-ray video-fluoroscopic CT scanner for dynamic volume imaging of moving organs. *IEEE Trans Med Imaging* 1982;1:22–33.
- Scarfe WC, Farman AG. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin North Am* 2008;52:707–30.
- Scarfe WC, Li Z, Aboelmaaty W, Scott SA, Farman AG. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. *Aust Dent J* 2012;57 Suppl 1:46–60.
- SEDENTEXCT. Radiation Protection: Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology, Evidence based guidelines 2011 (v2.0 Final). Saatavilla osoitteessa www.sedentext.eu/guidelines (Viitattu 2.9.2012).
- Suomalainen A. Cone beam computed tomography in oral radiology. Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino 2010.
- Säteilyturvakeskus 2011. Hammassröntgentutkimukset terveydenhuollossa. Saatavilla osoitteessa www.finlex.fi/data/normit/677-ST3_1.pdf (Viitattu 2.9.2012).
- Tuominen EK, Kankare J, Koskinen SK, Mattila KT. Weight-bearing CT imaging of the lower extremity. *Am J Roentgenol* 2013;200:146–8.
- Wallace MJ, Kuo MD, Glaiberman C, Binkert CA, Orth RC, Soulez G. Technology Assessment Committee of the Society of Interventional Radiology. Three-dimensional C-arm cone-beam CT: applications in the interventional suite. *J Vasc Interv Radiol* 2008;19:799–813.
- White SC, Pharoah MJ. The evolution and application of dental maxillofacial imaging modalities. *Dent Clin North Am* 2008;52:689–705.
- Yang WT. Emerging techniques and molecular imaging in breast cancer. *Semin Ultrasound CT MR* 2011;32:288–99.
- Zbijewski W, De Jean P, Prakash P, ym. A dedicated cone-beam CT system for musculoskeletal extremities imaging: design, optimization, and initial performance characterization. *Med Phys* 2011;38:4700–13.

Summary

Cone beam computed tomography and its clinical applications

The rapid progress in imaging techniques has led to the introduction of new methods in many sections of radiology. While cone beam computed tomography is a fairly recent newcomer, it is a widely applied, precise three-dimensional method for imaging hard tissue structures especially in dental radiology. In addition to the precise imaging of hard tissue structures, its benefits include a smaller irradiation exposure than in conventional computed tomography, as well as lower price and, as a rule, smaller size of the equipment. With a different equipment design the method is also applicable to the imaging of soft tissues.